ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Том XXV, № 6 *РАДИОФИЗИКА* *1982*

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 551.510.535 : 621.371.25

ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛЕЙ СИГНАЛОВ КОМБИНАЦИОННЫХ ЧАСТОТ ОТ РАССТОЯНИЯ ДО НАГРЕВНОЙ УСТАНОВКИ

А. В. Будилин, Д. С. Котик, С. Н. Митяков, С. В. Поляков, В. О. Рапопорт, Ю. А. Сазонов

При облучении ионосферы мощным модулированным радиоизлучением за счет модуляции естественных ионосферных токовых систем возникает излучение на частоте модуляции [1, 2].

Эксперименты по измерению параметров сигналов комбинационных частот (СКЧ), как правило, проводились в ближней зоне источников. Проводились также отдельные эксперименты по регистрации полей СКЧ в стационарном пункте на удалениях 200 *км* [1] и 350 *км* [3] от передатчика.

Осенью 1980 г. был проведен эксперимент по измерению зависимости поля СКЧ от расстояния. Измерения сигнала СКЧ на частоте $F = 1562{,}5$ *Гц* одновременно проводились в двух пунктах. Один из них — стационарный (H_α), расположенный на расстоянии 48 *км* от нагревного передатчика. Второй пункт — передвижной (H_β), на котором были произведены замеры на расстояниях 80, 120, 150, 230, 350, 450, 550 *км*. Из-за сильной нестационарности ионосферного источника СКЧ абсолютные измерения полей в одном передвижном пункте в разное время не могут дать достоверной информации о зависимости полей СКЧ от расстояния. Для исключения неопределенности, связанной с нестационарностью ионосферы, модуль поля, зарегистрированного в передвижном пункте, нормировался на модуль поля в стационарном пункте. Поскольку источник СКЧ и оба пункта приема не находились на одной линии в горизонтальной плоскости, для уменьшения неопределенности в ориентации ионосферного источника СКЧ измерения проводились в одно и то же время суток, когда естественная ионосферная токовая система имеет примерно одну и ту же конфигурацию. На рис. 1 приведена зависимость поля СКЧ от расстояния. На том же рисунке приведена расчетная кривая (сплошная), полученная в предположении, что поле описывается одной нормальной волной с постоянной затухания $\alpha = 22{,}6$ *дБ/мм*. Подобное затухание является характерным для частоты $F = 1562{,}5$ *Гц* [4]. Данные эксперимента (кружки) хорошо согласуются с расчетами.

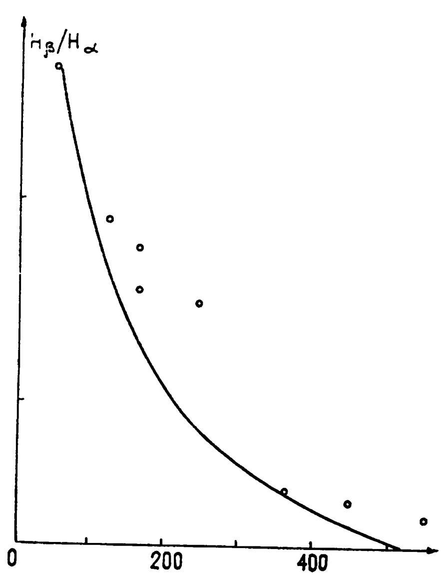

Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гетманцев Г. Г. и др.— Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, № 4, с. 229.
2. Котик Д. С., Трахтенгерц В. Ю.— Письма в ЖЭТФ, 1975, 21, № 2, с. 114.

3. Гетманцев Г. Г. и др.— В сб. Исследования ионосферы и магнитосферы методами активного воздействия.— Апатиты, 1977, с. 30.
4. Блиох П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля—ионосфера.— Киев, Наукова думка, 1977, с. 187.

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию 10 ноября 1981 г.

УДК 533.951

НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ УСИЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ, ПРОХОДЯЩИМ ЧЕРЕЗ СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНУЮ ПЛАЗМУ

В. А. Балакирев, В. А. Буц, В. В. Огнивенко, А. П. Толстолужский

Известно, что при прохождении заряженной частицы через периодически неоднородный диэлектрик возникает излучение [1, 2]. Это излучение может быть причиной возникновения коллективных неустойчивостей пучков заряженных частиц, движущихся в периодически неоднородных средах. Важной особенностью этого излучения является тот факт, что длина волны возбуждаемых колебаний в $2\gamma^2$ (γ — релятивистский фактор) раз короче периода неоднородности. Поэтому указанные неустойчивости представляют интерес для получения коротковолнового излучения. Линейная теория таких неустойчивостей построена в работе [3]. Максимальная амплитуда возбуждаемых колебаний и КПД преобразования энергии электронных пучков в энергию коротковолнового излучения могут быть определены только из нелинейной теории. Решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

Наиболее простой средой, в которой легко создать периодическую неоднородность и через которую легко транспортировать электронные пучки, является плазма. Кроме того, в плазме поперечный размер области взаимодействия поля с электронным пучком и предельные токи могут быть значительно бо́льшими, чем в традиционных вакуумных системах (дифракционные решетки, гофрированные поверхности). Это приводит к увеличению мощности возбуждаемых колебаний. Периодическую неоднородность плазмы можно создать, например, путем возбуждения в ней ионно-звуковых волн. Можно показать, что существуют условия, когда ВЧ поле само возбуждает ионно-звуковую волну. Подробно преимущества применения плазменных волноводов для целей ускорения заряженных частиц и возбуждения ВЧ полей описаны в [4, 5]. Поэтому ниже, для определенности, в качестве периодической неоднородной среды, в которой движется пучок, будем рассматривать плазму.

Рассмотрим цилиндрический плазменный волновод ($-\infty < z < \infty$, $0 < r < a$), плотность которого периодически меняется вдоль оси z. Плазменный волновод имеет металлический кожух радиуса a. Вдоль оси волновода движется релятивистский моноэнергетический пучок электронов. Параметры плазмы и равновесные параметры пучка однородны по сечению волновода. Вся система помещена в бесконечно сильное внешнее магнитное поле, силовые линии которого направлены вдоль оси z.

Будем решать задачу об усилении электромагнитных волн при стационарной инжекции пучка в плазменный волновод. Зависимость полей от времени определяется функцией $e^{-i\omega t}$. Тогда уравнение, описывающее распределение продольной компоненты электрического поля в волноводе, имеет вид

$$\Delta_\perp E_z + (k^2 + \partial^2/\partial z^2)\,\varepsilon(z)\,E_z = F_b, \tag{1}$$

где

$$k \equiv \frac{\omega}{c}, \quad \Delta_\perp \equiv \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r}\right),$$

$$F_b \equiv \frac{4\pi}{T}\int\limits_0^T e^{i\omega t}\left[\frac{1}{c^2}\frac{\partial j_z}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial z}\right]dt, \quad T \equiv \frac{2\pi}{\omega}.$$

Будем считать, что зависимость продольной компоненты тензора диэлектрической проницаемости замагниченной плазмы ε от координаты z имеет вид $\varepsilon = \varepsilon_0(1 + 2h\cos\varkappa z)$, $\varepsilon_0 \equiv 1 - \omega_p^2/\omega^2 > 0$, а величина h мала ($h \ll 1$). Тогда решение уравнения (1) можно искать в виде

$$E_z = \sum_{n,m} B_{nm}(z)\,J_0\left(\lambda_n\frac{r}{a}\right)\exp\left[i\,(k_\parallel + m\varkappa)\,z\right], \tag{2}$$